

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
MEDICINSKI FAKULTET**

Filip Staržik

**Promjene brzina strujanja krvi u
moždanim arterijama tijekom izvođenja
kognitivnih zadataka**

DIPLOMSKI RAD



Zagreb, 2016.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
MEDICINSKI FAKULTET**

Filip Staržik

**Promjene brzina strujanja krvi u
moždanim arterijama tijekom izvođenja
kognitivnih zadataka**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2016.

Ovaj diplomski rad izrađen je u Klinici za neurologiju KBC Zagreb pod vodstvom dr. sc. Marine Boban i predan na ocjenu u akademskoj godini 2015./2016.

Popis i objašnjenje kratica korištenih u radu

ACA - engl. *anterior cerebral artery*, prednja moždana arterija

ACI - lat. *arteria carotis interna*, unutarnja karotidna arterija

BFV - engl. *blood flow velocity*, brzina protoka krvi

CABG – engl. *coronary artery bypass graft*, kirurško premoštenje koronarnih arterija

CT - kompjutorizirana tomografija

EEG – elektroencefalogram

fMRI - funkcionalna magnetna rezonancija

fTCD - funkcionalni transkranijски Doppler

MCA - engl. *middle cerebral artery*, srednja moždana arterija

MR - magnetna rezonancija

PCA - engl. *posterior cerebral artery*, stražnja moždana arterija

PET - pozitronska emisijska tomografija

TCD - transkranijски Doppler

Sadržaj

1. Sažetak	
2. Summary	
3. Uvod.....	1
4. Transkranijski Doppler ultrazvuk – tehnika.....	2
5. Upotreba TCD-a u aktivacijskim studijama	4
6. Upotreba TCD-a tijekom provođenja kognitivnih zadataka	7
6.1. Srednja moždana arterija	9
6.2. Stražnja moždana arterija.....	26
6.3. Prednja moždana arterija	30
7. Prednosti i nedostaci metode.....	32
8. Zaključak.....	34
9. Zahvale	35
10. Literatura.....	36
11. Životopis.....	43

1. Sažetak

Promjene brzina strujanja krvi u moždanim arterijama tijekom izvođenja kognitivnih zadataka

Filip Staržik

Praćenje promjena brzina strujanja krvi u moždanim arterijama tijekom izvođenja kognitivnih zadataka je jedna od mogućnosti upotrebe transkranijskog Dopplera (TCD). U usporedbi s ostalim funkcionalnim neuroslikovnim metodama, jeftinija je, neinvazivna, neionizirajuća i daje informacije u realnom vremenu temeljeno na odličnoj vremenskoj rezoluciji tehnike.

U prvom dijelu ovog preglednog članka, prije kojeg se nalazi kratki uvod, ukratko se opisuje osnovne tehnike izvođenja transkranijskog Dopplera. Drugi dio rada predstavlja koncept neurovaskularne povezanosti (engl. *neurovascular coupling*) i mogućnosti TCD-a pri monitoriranju brzina strujanja krvi tijekom izvođenja različitih aktivacijskih testova. Treći dio sadrži pregled dosadašnjih studija koje su proučavale promjene brzina strujanja krvi tijekom izvođenja različitih kognitivnih zadataka. Rezultati su prikazani u tri tablice prema insoniranoj krvnoj žili (srednja, stražnja ili prednja cerebralna arterija). Na kraju rada su prikazane prednosti i nedostatci metode.

Ključne riječi: kognicija, kognitivni zadaci, lateralizacija, neurovaskularna povezanost, transkranijski Doppler

2. Summary

Blood flow velocity changes in cerebral arteries during performance of cognitive tasks

Filip Staržik

Monitoring of blood flow velocity changes in cerebral arteries during performance of cognitive tasks is one of the possible applications of transcranial Doppler ultrasonography. Compared to other neuroimaging techniques, it is less expensive, noninvasive, non-ionizing and provides real-time information due to excellent temporal resolution.

The first chapter of this review article, which follows after a short introduction, concisely describes the basic technique of performing transcranial Doppler ultrasonography. The second chapter presents the concept of neurovascular coupling and possibilities of transcranial Doppler ultrasonography in monitoring blood flow velocity changes during performance of various activation tests. The third chapter contains a summary of past studies that have monitored changes in blood flow velocities during performance of different cognitive tasks. The results are presented in three tables depending on the insonated cerebral artery (middle, posterior or anterior cerebral artery). The last chapter points out the advantages and disadvantages of this technique.

Key words: cognition, cognitive tasks, laterality, neurovascular coupling, transcranial Doppler

3. Uvod

Transkranijски Doppler (TCD) je dijagnostička metoda prvi puta opisana 1982. godine (1) kao metoda za detektiranje intrakranijalnog vazospazma i procjene moždane cirkulacije u okluzivnim bolestima velikih moždanih žila. U usporedbi s ostalim slikovnim metodama koje se koriste u neurologiji, kao što su magnetska rezonanca (MR), kompjutorizirana tomografija (CT) i pozitronska emisijska tomografija (PET), ova metoda je jeftinija, neinvazivna, neionizirajuća i omogućuje prikaz informacija o protoku u realnom vremenu. Prikaz u realnom vremenu je ključan za primjenu ove metode u analizi promjena protoka kroz moždane arterije tijekom izvođenja kognitivnih zadataka.

Cilj ovog preglednog rada je prikaz novih spoznaja i radova vezanih uz monitoriranje protoka krvi kroz moždane arterije tijekom izvođenja kognitivnih zadataka.

4. Transkranijski Doppler ultrazvuk – tehnika

Kao i sve ultrazvučne metode, transkranijaska Doppler tehnika se bazira na Dopplerovom efektu (2). Zvučni valovi se emitiraju iz sonde pri određenoj frekvenciji. Valovi se odbijaju od eritrocita u krvnim žilama natrag u sondu uz promijenjenu frekvenciju. Ova promjena u frekvenciji, poznata kao Dopplerov pomak, se koristi kako bi se izračunala brzina i smjer kretanja krvi. Brzina protoka krvi ovisi o različitim promjerima i tlakovima u krvnim žilama.

Transkranijalni Doppler ultrazvuk koristi sonde koje emitiraju ultrazvuk frekvencije 2 MHz (2,3), za razliku od konvencionalnih Doppler sondi koje koriste više frekvencije. Razlog tome je što se niže frekvencije mnogo manje atenuiraju u kostima što omogućava bolji prolazak ultrazvučnih valova kroz kosti lubanje.

Sonda ultrazvuka se prislanja uz kranijalni akustični prozor, tj. regije lubanje koje su dovoljno tanke da omogućavaju prolazak ultrazvučnih valova. Koriste se četiri kranijalna akustična prozora: transtemporalni, transorbitalni, subokcipitalni i submandibularni.

Od navedenih se najčešće koristi transtemporalni akustični prozor. Taj akustični prozor se nalazi u temporalnoj regiji iznad zigomatičnog luka ispred tragusa uha pri čemu se sonda usmjeri prema gore i anteriorno. Na taj način je moguće locirati između ostalog ipsilateralnu srednju i prednju moždanu arteriju (3). Istovremeno bilateralno snimanje istoimenih arterija omogućava pouzdanu usporedbu brzina protoka krvi u obje hemisfere. Kod dužeg monitoriranja transkranijalnim Dopplerom ultrazvučne sonde se mogu fiksirati na glavu pomoću trake ili obruča.

Kod djece se moždani protok pomoću ove tehnike može analizirati preko otvorenih fontanela (4).

5. Upotreba TCD-a u aktivacijskim studijama

Upotreba TCD-a u analizi promjena brzina strujanja krvi tijekom izvršavanja kognitivnih zadataka je moguća zbog postojanja funkcionalne hiperemije, tj. mehanizma tzv. neurovaskularne sprege (engl. *neurovascular coupling*) prilikom čega dolazi do promjena protoka krvi kroz velike moždane arterije uslijed povećanja lokalne metaboličke potrebe, tj. neuralne aktivnosti (5,6). Naime, u fiziološkom stanju, relativni protok krvi kroz određene regije mozga odlično korelira s relativnom brzinom strujanja krvi u velikim intrakranijskim krvnim žilama omogućavajući indirektno dobar uvid u metaboličke zahtjeve pojedine regije mozga na stupnju mikrocirkulacije određujući brzinu protoka krvi u moždanim arterijama (1, 7).

U određenim patološkim stanjima, kao što su Alzheimerova bolest, ishemijski moždani udar i hipertenzija, dolazi do remećenja mehanizma neurovaskularne sprege između neuralne aktivnosti i moždanog krvnog protoka čime dolazi do neurovaskularnog rascjepljivanja (engl. *neurovascular uncoupling*) (7).

U aktivacijskim studijama mjeri se promjena brzine strujanja krvi kroz odgovarajuće moždane arterije tijekom izvođenja različitih aktivacijskih zadataka (npr. motoričkih, kognitivnih, vidnih i sl.). Analizirajući brzine strujanja krvi kroz moždane arterije putem TCD-a, apsolutne vrijednosti brzina strujanja krvi ne predstavljaju adekvatne vrijednosti brzina jer Dopplerski signal ovisi o kutu između emitiranih ultrazvučnih valova i krvnog protoka. Ovaj kut nije jednak kad se uspoređuju dvije moždane krvne žile suprotnih strana zbog malih razlika u pozicioniranju ultrazvučnih sondi. Zbog tog razloga se podaci o brzini strujanja krvi pretvaraju u relativne promjene, tj. omjer između dva dobivena mjerenja (brzina strujanja krvi u aktiviranom stanju i mirovanju) (8).

Ova metoda se koristi u tzv. aktivacijskim studijama, tj. određivanju lokalizacije aktiviranih regija mozga kod ispitanika tijekom izvršavanja različitih aktivacijskih zadataka (npr. motoričkih, kognitivnih, vidnih i sl.). U takve studije spadaju određivanje lokalizacije motoričkih regija mozga, osjetilnih regija mozga ovisno o različitim modalitetima osjeta, regija mozga važnih za izvršavanje određenih kognitivnih zadataka i sl.

Primjer uporabe TCD-a pri analizi aktivacije motoričkih regija mozga je studija koju su proveli Caramia i suradnici u kojem su promatrani bolesnici s hemisferalnim moždanim udarom i posljedičnom hemiparezom te zdrave kontrole (9). Šest mjeseci nakon preboljelog moždanog udara upotrebom TCD-a su praćene brzine strujanja krvi kroz lijevu i desnu srednju moždanu arteriju tijekom motoričke aktivnosti, tj. opozicije palca ruke. Ispitivanje je pokazalo statistički značajan porast brzine strujanja krvi u ipsilateralnoj srednjoj moždanoj arteriji ($10.5 \pm 3.3\%$; $P < 0.001$) tijekom izvođenja motoričkog zadatka na rehabilitiranoj ruci kod svih bolesnika koji su se dobro motorički oporavili. Istraživanje ukazuje na mogućnost korištenja TCD-a u praćenju motoričke rehabilitacije bolesnika nakon moždanog udara.

Primjer uporabe TCD-a pri aktivaciji osjetilnih regija mozga je studija koju su proveli Rosengarten i suradnici u kojem je zdravim ispitanicima prezentiran vidni podražaj u vidu šahovnice na računalnom monitoru tijekom kojeg im je promatran protok krvi kroz stražnju moždanu arteriju upotrebom TCD-a (10). Istraživanje je pokazalo da povećanjem broja polja na šahovnici koja služi kao vidni podražaj dolazi do statistički značajnog povećanja brzina strujanja krvi u stražnjoj moždanoj arteriji (šahovnica 3x4: $10 \pm 3\%$; $p < 0.01$, šahovnica 6x8: $12 \pm 4\%$; $p < 0.05$, šahovnica 12x16: $14 \pm 6\%$). Ovo istraživanje ukazuje na mogućnost uporabe TCD-a u procjeni

neurovaskularne povezanosti u ranim fazama neurodegenerativnih bolesti ili bolesti moždanih krvnih žila.

6. Upotreba TCD-a tijekom provođenja kognitivnih zadataka

Funkcionalni TCD (fTCD) je metoda koja se koristi za mjerenje brzina strujanja krvi kroz velike moždane arterije tijekom izvođenja različitih aktivacijskih zadataka. Ovdje će biti prikazane studije u kojima se TCD koristi za mjerenje brzina strujanja krvi kroz velike moždane arterije tijekom izvođenja različitih kognitivnih zadataka. U studiji Schmidta i suradnika iz 1999. godine (8) praćene su promjene u strujanju krvi kroz srednje moždane arterije upotrebom TCD-a, ali i funkcionalnog MRI (fMRI) kod 14 zdravih ispitanika tijekom provođenja vidnoprstornih kognitivnih zadataka. Obje tehnike su se pokazale adekvatne u određivanju dominantne hemisfere tijekom izvođenja kompleksnog kognitivnog vidnoprstornog zadatka. Ovaj rezultat pokazuje mogućnosti fTCD-a u određivanju lateralizacije moždanih kognitivnih funkcija posljedično mogućnosti TCD-a da istovremeno određuje promjene u brzini strujanja krvi kroz velike moždane arterije (11).

U kliničkoj praksi, analiza hemisferne lateralizacije govora je važna za planiranje i procjenu ishoda neurokirurške operacije bolesnika s epilepsijom rezistentnom na lijekove (12). Kako bi se izbjeglo korištenje Wada testa, koji je invazivna metoda, za analizu lateralizacije govora može se koristiti fMRI, no on je skuplja i slabije dostupna metoda. U bolesnika koji imaju kontraindikaciju za fMRI, lateralizacija govora se može odrediti upravo uz pomoću fTCD-a.

U narednom dijelu ovog poglavlja biti će prikazane studije u kojima su upotrebom TCD-a određivane brzine strujanja krvi u moždanim arterijama tijekom provođenja različitih kognitivnih zadataka. Studije će biti prikazane tablično uz podjelu studija prema promatranoj moždanoj arteriji (srednja, stražnja te prednja moždana arterija).

Do sada je najviše studija promatralo promjene strujanja krvi kroz srednje moždane arterije, dok je prednja moždana arterija tek u novije vrijeme postala zanimljiva za promatranja.

U tablicama su prikazani autori i referenca na rad, kratki prikaz ispitivane skupine s naznakom radi li se o ljevacima/dešnjacima ili heterogenoj skupini, naziv korištenog kognitivnog zadatka te rezultati (promjene brzina strujanja krvi unutar hemisfere te između hemisfera i eventualno postojanje hemisferične lateralizacije). Prikaz studija prema provedenim kognitivnim zadacima bi bilo gotovo nemoguće s obzirom na izuzetnu raznolikost korištenih kognitivnih testova. Za detaljniji uvid u navedene studije, molim potražiti navedene reference u tablicama.

6.1. Srednja moždana arterija

Pošto se većina mozga zaduženog za kognitivne procese opskrbljuje iz srednje moždane arterije, monitoriranje ove arterije omogućava bolji globalni prikaz protoka krvi tijekom izvođenja kognitivnih zadataka. Također, ovu arteriju je lako monitorirati putem TCD-a kod većine ispitanika (11).

Tablica 1 Studije u kojima su upotrebom transkranijuskog Dopplera praćene brzine strujanja krvi u srednjim moždanim arterijama tijekom provođenja različitih kognitivnih zadataka

Autori	Ispitanici	Kognitivni zadaci	Povećanje brzine protoka krvi	Hemisferalna lateralizacija
Droste i sur. (1989.) (13)	28 zdravih ispitanika (dešnjaci, 20-64 godine)	Čitanje naglas	Bilateralno	L > D (nije statistički značajno)
		Čitanje potihom	Bilateralno	L > D (nije statistički značajno)
		Traženje imenica naglas	Bilateralno	L > D (statistički značajno)
		Traženje imenica potihom	Bilateralno	L > D (nije statistički značajno)
		Množenje naglas	Bilateralno	L > D (nije statistički značajno)
		Množenje potihom	Bilateralno	L > D (nije statistički značajno)
Harders i sur. (1989.) (14)	70 zdravih ispitanika (46 dešnjaka, 24 ljevaka, 16-63 godine)	Čitanje naglas	Bilateralno	-
		Procjena točaka/udaljenosti	Bilateralno	D > L (statistički značajno)
		Traženje imenica	Bilateralno	-
		Zamišljanje prostora	Bilateralno	D > L (statistički značajno)
		Množenje naglas	Bilateralno	-
		Prepoznavanje lica potihom	Bilateralno	D > L (statistički značajno)

Autori	Ispitanici	Kognitivni zadaci	Povećanje brzine protoka krvi	Hemisferalna lateralizacija
Njemanze (1991.) (15)	22 zdrava ispitanika (13 dešnjaka, 9 ljevaka, 18-38 godina) 5 disleksičnih ispitanika (3 dešnjaka, 2 ljevaka, 32-43 godine)	Slušanje glazbe bez vokala		<i>Zdravi dešnjaci, glazba s vokalima</i> Dominantna H > nedominantna H
		Slušanje glazbe sa vokalima		<i>Zdravi ljevaci, glazba s vokalima</i> Nedominantna H > dominantna H Disleksični ispitanici: Rezultati obrnuti u odnosu na zdrave ispitanike
Kelley i sur. (1992.) (16)	21 zdravi ispitanik (15 dešnjaka, 5 ambideksteri, 1 ljevak, 17-48 godina)	Računalna igrice	Bilateralno (p < 0.0001)	D ≥ L (nije statistički značajno)
Markus i Boland (1992.) (17)	18 ispitanika (12 dešnjaka, 3 ljevaka, 3 ambideksteri, prosjek godina 24.9)	Udruživanje riječi	Dešnjaci: lijeva Ljevaci: bilateralno	L > D (statistički značajno) D ≥ L (za 3 ljevaka)
Kelley i sur. (1993.) (18)	20 ispitanika (dešnjaci, 20-42 godine)	Sortiraje Mahjong pločica desnom rukom	Bilateralno (p < 0.005)	
		Sortiraje Mahjong pločica lijevom rukom	D (p < 0.0005)	
		Stimuliranje vibracijom desne strane	Nije statistički značajno	
		Stimuliranje vibracijom lijeve strane	Nije statistički značajno	

Autori	Ispitanici	Kognitivni zadaci	Povećanje brzine protoka krvi	Hemisferalna lateralizacija
Silvestrini i sur. (1993.) (19)	12 oporavljenih hemiplegičnih pacijenata nakon moždanog udara, (dešnjaci, 49-68 godina)	Sekvencijalna opozicija palca prema prsta	Nezahvaćena ruka: kontralateralno Oporavljena ruka: bilateralno	
	12 zdravih ispitanika (dešnjaci)		Kontralateralno	
Sitzer i sur. (1994.) (20)	36 od 58 zdravih ispitanika (dešnjaci, 17-35 godina) I. 10 ispitanika II. 10 ispitanika III. 10 ispitanika; samo lijevostrana mjerenja	Vibracijska stimulacija	I. L, nije statistički značajno	
		Sekvencijalno pomicanje prstiju	II. L, nije statistički značajno	
		Somatosenzorna sposobnost razlikovanja	III. L ($p < 0.01$)	
	6 zdravih ispitanika	Vibracijska stimulacija	Bilateralno	L = D
		Sekvencijalno pomicanje prstiju	Bilateralno	L > D ($p < 0.001$)
		Somatosenzorna sposobnost razlikovanja	Bilateralno	L > D ($p < 0.05$)
Hartje i sur. (1994.) (21)	31 ispitanik (dešnjaci, 22-41 godine)	Usmeno dopunjavanje rečenica	Bilateralno ($p \leq 0.03$)	L > D ($p < 0.005$)
		Verbalno jednako/ suprotno značenje riječi	Bilateralno ($p \leq 0.03$)	L > D ($p < 0.005$)
		Verbalne sličnosti	Bilateralno ($p \leq 0.03$)	L > D ($p < 0.001$)
		Pronalaženje sličnosti među slikama	Bilateralno ($p \leq 0.03$)	D > L ($p < 0.001$)
		Sastavljanje figura	Bilateralno ($p \leq 0.03$)	D = L
		Usporedba kocki	Bilateralno ($p \leq 0.03$)	D > L ($p < 0.1$)
		Promjena iz svjetla u mrak (vizualni podražaj)	Bilateralno ($p \leq 0.01$)	D > L ($p < 0.05$)
		Gledanje jednostavnih crteža	Bilateralno ($p \leq 0.01$)	D = L
		Motorička aktivacija	Bilateralno ($p \leq 0.01$)	D = L

Autori	Ispitanici	Kognitivni zadaci	Povećanje brzine protoka krvi	Hemisferalna lateralizacija
		Vazomotorička aktivacija, hiperventilacija		D = L
Silvestrini i sur. (1994.) (22)	26 zdravih ispitanika (dešnjaci, 24-33 godine)	Test verbalne fluentnosti	Bilateralno ($p \leq 0.001$)	L > D ($p < 0.0001$)
		Vizualiziranje	Bilateralno ($p \leq 0.001$)	L > D ($p < 0.0001$)
Silvestrini i sur. (1995.) (23)	45 pacijenata s kortikalnim ishemijskim infarktom (dešnjaci) I. 13 pacijenata sa desnostranom parezom i zahvaćenim Brocinim područjem, prosjek godina 63 II. 12 pacijenata s lijevostranom hemiparezom, prosjek godina 59 III. 20 pacijenata s lijevostranom hemiparezom, prosjek godina 65 IV. 16 zdravih ispitanika	Sekvencijalna opozicija palca prema prstima	Nezahvaćena ruka: kontralateralno Oporavljena ruka: kontralateralno i ipsilateralno	
		Test verbalne fluentnosti	Desna MCA I > II ($p < 0.005$) Desna MCA I > III ($p < 0.05$) Desna MCA I > IV ($p < 0.05$)	
Rihs i sur. (1995.) (24)	14 zdravih ispitanika (dešnjaci, 24-41 godine)	Sinonimi	Bilateralno	L > D
		Sintaksa	Bilateralno	L > D
		Prepoznavanje lica	Bilateralno	D > L
		Uspoređivanje dizajna	Bilateralno	D > L
		Čitanje naglas	Bilateralno	L > D
		Gledanje u bijeli ekran	Bilateralno	D > L (u mirovanju)
Bulla-Hellwig i sur. (1996.) (25)	28 zdravih ispitanika (dešnjaci, 19-30 godina)	Verbalne sličnosti	L ($p < 0.01$)	L ≥ D ($p < 0.1$)
		Prepoznavanje vidnoprstorno identičnih oblika	Bilateralno ($p < 0.05$)	D ≥ L ($p < 0.005$)
		Vidnoprstorna usporedba kocki	Bilateralno ($p < 0.05$)	D = L ($p > 0.1$)
Cupini i sur. (1996.) (26)	22 zdravih ispitanika (dešnjaci, 19-32 godine)	Vidnoprstorna radna memorija	Bilateralno	D > L ($p < 0.005$)
		Vidnoprstorna percepcija	Bilateralno	D = L

Autori	Ispitanici	Kognitivni zadaci	Povećanje brzine protoka krvi	Hemisferalna lateralizacija
		Verbalna radna memorija	Bilateralno	D = L
		Vidna percepcija	Bilateralno	D = L
		Stanje 1 I. Bez zvučnog signala za početak	Bilateralno	D > L
		II. Potraga za riječima		L > D
Knecht i sur. (1996.) (27)	9 zdravih pacijenata (dešnjaci, 23-52 godina)	Stanje 2 I. Bez zvučnog signala za početak	Bilateralno	D > L
		II. Potraga za riječima		L > D (p = 0.05)
Orlandi i Murri (1996.) (28)	55 zdravih ispitanika (dešnjaci) 30 mlađih ispitanika (20-35 godina)	Otvaranje i zatvaranje šake		
		Lijeva šaka (mjerjenje desne MCA)	Bilateralno (statistički značajno)	D > L (statistički značajno)
		Desna šaka (mjerjenje lijeve MCA)	Bilateralno (statistički značajno)	L > D (statistički značajno)
		Lijeva šaka (mjerjenje lijeve MCA)	Bilateralno	
		Desna šaka (mjerjenje desne MCA)	Bilateralno	
	25 starijih ispitanika (60-77 godina)	Otvaranje i zatvaranje šake		
		Lijeva šaka (mjerjenje desne MCA)	Bilateralno (statistički značajno)	D > L
		Desna šaka (mjerjenje lijeve MCA)	Bilateralno (statistički značajno)	L > D
		Lijeva šaka (mjerjenje lijeve MCA)	Bilateralno	
		Desna šaka (mjerjenje desne MCA)	Bilateralno	

Autori	Ispitanici	Kognitivni zadaci	Povećanje brzine protoka krvi	Hemisferalna lateralizacija
Matteis i sur. (1997.) (29)	20 zdravih ispitanika (dešnjaci, 20-25 godina)	Percepcija melodije	Bilateralno	D > L
		Prepoznavanje melodije	-	D > L
Schnittger i sur. (1997.) (30)	16 zdravih ispitanika (dešnjaci, 20-33 godina)	Prepoznavanje globalnih ili lokalnih slova (Navonova paradigma)	Bilateralno	Nije statistički značajno
Varnadore i sur. (1997.) (31)	60 zdravih ispitanika (51 dešnjak, 9 ljevaka, 18-23 godine)	Promatranje zapisanih riječi	MCA i ACA > PCA	
		Govorenje	MCA > PCA	
		Pisanje	MCA > ACA + PCA	
		Promatranje anagrama	MCA > PCA	
		Čitanje anagrama		
		Pisanje anagrama		
Silvestrini i sur. (1998.) (32)	26 pacijenata nakon moždanog udara (Prosjeak godina: 61) I. Odsutan ili blagi oporavak II. Dobar oporavak III. 25 zdravih ispitanika (dešnjaci, prosjek godina 63)	Test verbalne fluentnosti (šaptanje)	II. Bilateralno	Prvo ispitivanje (1) I. L = D II. L > D (p < 0.0001) III. L > D (p < 0.0001) Drugo ispitivanje (2) II. BFV D(1) > D(2) (p < 0.01)
Vollmer-Haase i sur. (1998.) (33)	32 zdrava ispitanika (dešnjaci, 19-39 godina)	Pasivno slušanje glazbe		
		A cappella	Bilateralno (p < 0.1)	L > D (p < 0.1)
		Instrumentalna		L = D
		Prepoznavanje glazbe		
		A cappella	Bilateralno (p < 0.01)	D > L (p < 0.001)
		Instrumentalna		D > L (p < 0.01)

Autori	Ispitanici	Kognitivni zadaci	Povećanje brzine protoka krvi	Hemisferalna lateralizacija
Vingerhoets i Stroobant (1999.) (11)	90 zdravih ispitanika (dešnjaci, 18-62 godina)	Čitanje naglas	Bilateralno	L > D (p < 0.001)
		Verbalna sličnost	Bilateralno	L > D (p < 0.001)
		Usporedba vidnoprstornih dizajna	Bilateralno	D > L (p < 0.01)
		Konstrukcija rečenica	Bilateralno	L > D (p < 0.001)
		Prostornovizualna konstrukcija kocke	Bilateralno	D > L nije statistički značajno
		Zadatak verbalnih sličnosti	Bilateralno	L > D (p < 0.1)
		Alfanumeričke mentalne rotacije	Bilateralno	D > L nije statistički značajno
		Usporedba rečenica	Bilateralno	L > D (p < 0.01)
		Mentalna rotacija slika	Bilateralno	D > L (p < 0.01)
		Test verbalne fluentnosti	Bilateralno	L > D (p < 0.001)
		Vidno pretraživanje	Bilateralno	L > D (p < 0.001)
		Računalna igrice	Bilateralno	D > L (p < 0.001)
		3D puzzle	Bilateralno	L > D (p < 0.001)
Caramia i sur. (2000.) (9)	14 bolesnika 6 mjeseci nakon hemisferičnog moždanog udara, (42-71 godine) 20 zdravih kontrola	Opozicija palca do prsta	Nezahvaćena ruka: kontralateralno Zahvaćena ruka: statistički značajno povećanje BFV ipsilateralne MCA (p < 0.001)	

Autori	Ispitanici	Kognitivni zadaci	Povećanje brzine protoka krvi	Hemisferalna lateralizacija
Serrati i sur. (2000.) (34)	19 zdravih ispitanika (dešnjaci, prosjek godina 28.3)	Razlikovanje desne i lijeve ruke nakon vizualnog i verbalnog znaka	Bilateralno	Nije statistički značajno
		Razlikovanje desne i lijeve ruke nakon vizualnog znaka	Bilateralno	Nije statistički značajno
		Ratcliffov test	Bilateralno	Nije statistički značajno
		Usporedba kocki	Bilateralno	Nije statistički značajno
		Test verbalne fluentnosti	Bilateralno uz statistički beznačajno povećanje brzine protoka u DMCA	L > D
Uzuner i sur. (2000.) (35)	18 ispitanika 9 žena (48.0 ± 3.8 godina) 9 muškaraca (54.4 ± 4.8 godina)	Istovremeno stiskanje obju šaka	Bilateralno (p < 0.001)	Nije statistički značajno
Vingerhoets i Luppens (2001.) (36)	28 zdravih ispitanika (dešnjaci, 20-32 godina)	Test dihotičnog slušanja	Bilateralno (p < 0.001)	Nije statistički značajno
		Zadatak percepcije	Bilateralno (p < 0.001)	Nije statistički značajno
		Podijeljena pažnja	Bilateralno (p < 0.001)	Nije statistički značajno
		Usmjeriti pažnju na desno uho	Bilateralno (p < 0.001)	Nije statistički značajno
		Usmjeriti pažnju na lijevo uho	Bilateralno (p < 0.001)	Nije statistički značajno
Schuepbach i sur. (2002.) (37)	20 zdravih ispitanika 11 muškaraca Prosjeak godina: 28.9 ± 6.9 9 žena Prosjeak godina: 27.4 ± 5.4	Wisconsin Card Sorting Test	Bilateralno	L > D
		Tower of Hanoi	Bilateralno	L > D

Autori	Ispitanici	Kognitivni zadaci	Povećanje brzine protoka krvi	Hemisferalna lateralizacija
Schuepbach i sur. (2002.) (38)	11 pacijenata sa shizofrenijom (dešnjaci, prosjek godina 31.01) 20 zdravih ispitanika (prosjek godina 28.68)	Wisconsin Card Sorting Test	Pacijenti sa shizofrenijom su imali poglavito sniženu brzinu protoka krvi tijekom inicijalne faze oba zadatka i tijekom mirne faze TOH zadatka	
		Tower of Hanoi (TOH)		
Knake i sur. (2003.) (39)	13 pacijenata sa epilepsijom temporalnog režnja (dešnjaci, 9-48 godina)	Test verbalne fluentnosti		Rezultati za 11 pacijenata (2 pacijenata nije imalo adekvatne akustične prozore) L > D (9/11) D > L (1/11) Nije statistički značajna razlika (1/11) Rezultati koreliraju sa rezultatima Wada testa
Bašić i sur. (2004.) (40)	150 zdravih ispitanika (75 ljevaka, 75 dešnjaka, 20-46 godina)	Test stvaranja riječi	Ljevaci: bilateralno u 11 ispitanika	Ljevaci: D > L u 58 ispitanika (statistički značajno) L > D u 6 ispitanika (statistički značajno)
			Dešnjaci: Bilateralno u 5 ispitanika	Dešnjaci: L > D u 70 ispitanika (statistički značajno)
Carod Artal i sur. (2004.) (41)	30 zdravih ispitanika (dešnjaci, 23-40 godina)	Slušanje ritmičnog čistog zvuka	Bilateralno Habitucija nakon 60 sekundi	
		Slušanje govora	Bilateralno Nema habituacije u brzini protoka u LMCA	L > D

Autori	Ispitanici	Kognitivni zadaci	Povećanje brzine protoka krvi	Hemisferalna lateralizacija
		Slušanje instrumentalne glazbe	Bilateralno Habitucija nakon 60 sekundi	
Frauenfelder i sur. (2004.) (42)	21 zdravih ispitanika (20-51 godina)	Stockings of Cambridge	Bilateralno	D > L nije statistički značajno
Stroobant i sur. (2004.) (43)	66 kandidata za elektivni CABG (dešnjaci) 5 žena 61 muškaraca Prosjeak godina: 59.4 ± 7.5 Kontrolna skupina: 60 zdravih ispitanika (dešnjaci) 5 žena 55 muškaraca Prosjeak godina: 58 ± 7	Čitanje	Bilateralno	L > D
		Vizualno pretraživanje	Promjene u brzini protoka krvi su statistički značajno manje u kardioloških pacijenata u odnosu na kontrolnu skupinu	D > L
		Sintaktička konstrukcija rečenica		L > D
		3d puzzle		D > L
		Test verbalne fluentnosti		L > D
Flöel i sur. (2005.) (44)	75 zdravih ispitanika (37 dešnjaka, 38 ljevaka, 18-56 godina)	Vidnoprstorni zadatak uočavanja orijentira		Dešnjaci: D > L (95% slučajeva; 35/37) L > D (5% slučajeva; 2/37) Ljevaci: D > L (81% slučajeva; 31/38) L > D (19% slučajeva; 7/38)
		Test stvaranja riječi	Bilateralno	Dešnjaci: L > D (97% slučajeva; 36/37) D > L (3% slučajeva; 1/37) Ljevaci: L > D (26% slučajeva; 10/38) D > L (74% slučajeva; 28/38)
Lohmann i sur. (2005.) (45)	16 ispitanika (14 dešnjaka, 1 ambidekster, 1 ljevak, 2.3-9.8 godina)	Test opisivanja slike	Bilateralno	L > D (11/16) D > L (3/16) Nije statistički značajna razlika (2/16)

Autori	Ispitanici	Kognitivni zadaci	Povećanje brzine protoka krvi	Hemisferalna lateralizacija
Szirmai i sur. (2005.) (46)	12 zdravih ispitanika (4 ljevaka, 8 dešnjaka, prosjek godina 28.6)	Računanje (oduzimanje)	Bilateralno	
		Test stvaranja riječi	Bilateralno u 10/12 ispitanika	L > D (7 dešnjaka, 1 ljevak) D > L (1 ljevak)
Schuepbach i sur. (2005.) (47)	21 ispitanik (dešnjaci, prosjek godina 28.5)	Wisconsin card sorting test (WCST)	I. Održavanje pravila: Bilateralno	L > D
			II. Promjena pravila: Bilateralno BFV II > BFV I	L > D
Duschek i Shandry (2006.) (48)	40 hipotenzivnih ispitanika (dešnjaci, 20-50 godina) 40 normotenzivnih kontrola (dešnjaci, 20-52 godina)	Serijsko oduzimanje	Bilateralno Statistički značajna korelacija između promjena krvnog tlaka induciranih izvođenjem zadatka i promjena brzine protoka krvi u MCA u hipotenzivnih ispitanika	L > D
Krach i Hartje (2006.) (49)	19 muškaraca (dešnjaci, prosjek godina 25.7)	Rimovanje	Bilateralno	L > D ($p \leq 0.003$)
		Test verbalne fluentnosti	Bilateralno	L > D ($p \leq 0.024$)
Schuepbach i sur. (2007.) (50)	16 zdravih ispitanika (dešnjaci, prosjek godina 31.19)	Stockings of Cambridge	Bilateralno	Planiranje: D > L Rana hemodinamska modulacija LMCA značajno predviđa točnost izvršavanja zadatka

Autori	Ispitanici	Kognitivni zadaci	Povećanje brzine protoka krvi	Hemisferalna lateralizacija
Schuepbach i sur. (2007.) (51)	I. 21 pacijenata sa shizofrenijom (dešnjaci, prosjek godina 34.7) II. 20 zdravih ispitanika (kontrola) (dešnjaci, prosijek godina 31.0)	Stockings of Cambridge	MCA I. < MCA II.	
Dorst i sur. (2008.) (52)	29 zdravih ispitanika (dešnjaci, 18 – 64 godina)	Zadatak prostorne orijentacije		D > L (21/29; 72.4%) L > D (7/29; 24.1%) Nema statističke razlike (1/29; 3.5%)
		Test stvaranja riječi		L > D
Duschek (2008.) (53)	48 zdravih ispitanika (dešnjaci, 20-52 godina)	Motorička reakcija na vizualnu stimulaciju	Bilateralno	D > L
Bishop i sur. (2009.) (54)	33 ispitanika (21 dešnjak, 12 ljevaka, 20-64 godina)	Test verbalne fluentnosti	Bilateralno	L > D (27/33) D > L (5/33) Nije statistički značajna razlika (1/33)
		Opis slike	Bilateralno	L > D (27/33) D > L (2/33) Nije statistički značajna razlika (4/33)
		Opis animacije	Bilateralno	L > D (27/33) D > L (5/33) Nije statistički značajna razlika (1/33)
	21 ispitanik (dešnjaci, prosijek godina 4.08)	Opis animacije	Bilateralno	L > D (13/21) D > L (4/21) Nema statistički značajne razlike (4/21)

Autori	Ispitanici	Kognitivni zadaci	Povećanje brzine protoka krvi	Hemisferalna lateralizacija
Haag i sur. (2009.) (55)	48 zdravih ispitanika (dešnjaci, prosjek godina 26.8)	Test mentalne rotacije		D > L (30/48) L > D (13/48) Nema statistički značajne razlike (5/48)
		Test verbalne fluentnosti		L > D (46/48) D > L (1/48) Nema statistički značajne razlike (1/48)
Illingworth i Bishop (2009.) (56)	30 ispitanika bez disleksije (Prosjeak godina 22.4)	Test verbalne fluentnosti	Bilateralno	L > D (28/30) Nema statistički značajne razlike (2/30)
	30 ispitanika s disleksijom (Prosjeak godina 24.2)	Test stvaranja riječi	Bilateralno	L > D (23/30) D > L (4/30) Nema statistički značajne razlike (3/30)
Lin i sur. (2009.) (57)	21 ispitanik bez cerebrovaskularne bolesti (dešnjaci, 22-30 godina)	Čitanje	Bilateralno	L > D (p < 0.001)
		Računanje	Bilateralno	L > D (p < 0.001)
		Gradiranje boja	Bilateralno	L > D (p < 0.001)
		Prepoznavanje lica	Bilateralno	L > D (p < 0.001)
		Imaginacija prostora	Bilateralno	L > D (p < 0.05)
		Orijentiranje linija	Bilateralno	D > L (p < 0.001)
Matteis i sur. (2009.) (58)	30 zdravih ispitanika (dešnjaci) 15 muškaraca Prosjeak godina: 25.9 ± 6.9 15 žena Prosjeak godina: 23.9 ± 6.3	Tonička pažnja	Bilateralno	D > L (p < 0.001)
		Fazička pažnja	Bilateralno	D > L (p < 0.001)
		Go/NoGo	Bilateralno	D > L (p < 0.001)
		Podijeljena pažnja	Bilateralno	D > L (p < 0.001)
Stroobant i sur. (2009.) (59)	30 zdravih ispitanika (dešnjaci, 18-29 godina)	Test stvaranja riječi	Bilateralno	L > D (p < 0.001)
		Konstrukcija rečenica	Bilateralno	L > D (p < 0.001)
		Čitanje	Bilateralno	L > D (p < 0.01)
		Zadatak semantičke odluke	Bilateralno	L > D (p < 0.01)
Duschek i sur. (2010.) (60)	50 ispitanika (dešnjaci, 20-48 godina)	Test reakcije na podražaj	Bilateralno	D > L

Autori	Ispitanici	Kognitivni zadaci	Povećanje brzine protoka krvi	Hemisferalna lateralizacija
Njemanze (2010.) (61)	16 zdravih ispitanika (dešnjaci, 8 žena (Ž)); Prosjeak godina: 24 8 muškaraca (M); Prosjeak godina: 24.6	Stimuliranje svjetlošću	Ž: nije statistički značajno	M: D > L (p < 0.05)
		Stimuliranje plavom svjetlošću	Ž i M: bilateralno	
		Stimuliranje žutom svjetlošću	Ž: nije statistički značajno	M: D > L (p < 0.05)
		Stimuliranje crvenom svjetlošću	Ž: nije statistički značajno	M: D > L (p < 0.01)
Bracco i sur. (2011.) (62)	70 zdravih ispitanika podijeljenih u dvije grupe (dešnjaci, 21-60 godina) I. 35 ispitanika 21-40 godina II. 35 ispitanika 41-60 godina	Prepoznavanje geometrijskih oblika	Bilateralno	Nije statistički značajno
		Lokaliziranje objekata	Bilateralno	D > L (p=0.026)
		Prisjećanje kratkog teksta (opis sobe)	Bilateralno	L > D (p=0.22)
		Računanje	Bilateralno	L > D (p=0.004)
Groen i sur. (2011.) (63)	24 ispitanika (15 dešnjaka, 8 ljevaka, 1 ambidekster, 18-29 godina)	Zadatak prostorno-vizualne memorije 1 (<i>Circles paradigm</i>)		D > L (21/24) L > D (3/24)
		Zadatak prostorno-vizualne memorije 2 (<i>Rabbits paradigm</i>)		D > L (20/24) L > D (4/24)
	14 ispitanika (9 dešnjaka, 1 ljevak, 4 ambidekster, 6-8 godina)	Zadatak prostorno-vizualne memorije 2 (<i>Rabbits paradigm</i>)		D > L (11/14) L > D (3/14)

Autori	Ispitanici	Kognitivni zadaci	Povećanje brzine protoka krvi	Hemisferalna lateralizacija
Lust i sur. (2011.) (64)	26 ispitanika (dešnjaci, prosjek godina 21.0)	Test stvaranja riječi	Bilateralno	L > D
		Test dinamičkog orijentira	Bilateralno	D > L
		Kombinacija dvaju testova	Bilateralno	Ispitanici sa tipičnom lateralizacijom za ove zadatke su bili efikasniji u njihovom simultanom rješavanju
Lust i sur. (2011.) (65)	36 zdravih ispitanika (dešnjaci, prosjek godina 20.0)	Test stvaranja riječi	Bilateralno	L > D (p<0.0005)
	35 zdravih ispitanika (ne-dešnjaci, prosjek godina 20.0)	Simulacija vožnje automobila	Bilateralno	D > L (p=0.001)
		Kombinacija dvaju testova	Bilateralno	D > L
Mistelli i sur. (2011.) (66)	30 zdravih ispitanika (dešnjaci, 15 muškaraca prosjek godina 31.0, 15 žena prosjek godina 31.5)	Trail making test A		Nije statistički značajno
		Trail making test B		U žena na početku testa DMCA > LMCA, tijekom kasnije faze bilateralna dominacija ili LMCA > DMCA; U muškaraca LMCA > DMCA
Stroobant i sur. (2011.) (67)	26 zdravih ispitanika (dešnjaci, 49-113 mjeseci)	Ekspresivni jezični zadatak (Pričanje priče)		L > D 90% podudarnost nakon mjesec dana (18/20)
	Nakon mjesec dana: provjera pouzdanosti na 20 ispitanika	Receptivni jezični zadatak (Slušanje priče)		L > D 55% pouzdanost nakon mjesec dana (11/20)

Autori	Ispitanici	Kognitivni zadaci	Povećanje brzine protoka krvi	Hemisferalna lateralizacija
Šimičević i sur. (2011.) (68)	I. 8 ispitanika sa lijevostranim infarktom srednje cerebralne arterije i različitim stupnjevima afazije (dešnjaci, prosjek godina 47) II. 16 zdravih kontrola (Prosjek godina 38)	Verbalna stimulacija	Bilateralno	L > D L MCA I. > L MCA II.; nije statistički značajno
Badcock i sur. (2012.) (69)	27 ispitanika (23 dešnjaka, 4 ljevaka, 20-66 godina)	Test stvaranja riječi (analizirani podaci od 22 ispitanika)	Bilateralno	L > D (17/22; 77%) D > L (1/22; 5%) Nema statistički značajne razlike (4/22; 18%)
		Slušno imenovanje (analizirani podaci od 25 ispitanika)	Bilateralno	L > D (18/25; 72%) D > L (1/25; 4%) Nema statistički značajne razlike (6/25; 24%)
		Pričanje priče prema slici (analizirani podaci od 27 ispitanika)	Bilateralno	L > D (15/27; 56%) Nema statistički značajne razlike (12/27; 44%)

Autori	Ispitanici	Kognitivni zadaci	Povećanje brzine protoka krvi	Hemisferalna lateralizacija
Boban i sur. (2014.) (70)	14 ispitanika; (dešnjaci, 20-26 godina)	Test verbalne fluentnosti	Bilateralno	L > D (p=0.013)
		Stroop test s neutralnim stimulusom	Bilateralno	L > D (p=0.116)
		Stroop test s kongruentnim stimulusom	Bilateralno	L > D (p=0.152)
		Stroop test s inkongruentnim stimulusom	Bilateralno	L > D (12/14; 86% slučajeva) D > L (2/14; 14% slučajeva) p=0.046
		Trail making test A	Bilateralno	D > L (11/14; 79% slučajeva) L > D (3/14; 21% ispitanika) p=0.311
		Trail making test B	Bilateralno	D > L (9/14) L > D (5/14) p=0.463
Li i sur. (2014.) (71)	20 zdravih ispitanika (Prosjeak godina 21.5)	Test mentalne rotacije	Bilateralno	D > L
		Test stvaranja riječi	Bilateralno	L > D

Kratice: L – lijeva hemisfera, D – desna hemisfera, H – hemisfera

6.2. Stražnja moždana arterija

Tablica 2 Studije u kojima su upotrebom transkranijuskog Dopplera praćene brzine strujanja krvi u stražnjim moždanim arterijama tijekom provođenja različitih kognitivnih zadataka

Autori	Ispitanici	Kognitivni zadaci	Povećanje brzine protoka krvi	Hemisferalna lateralizacija
Harders i sur. (1989.) (14)	24 zdravih ispitanika (dešnjaci, 20-49 godina)	Osvjetljavanje lijevog vidnog polja	Bilateralno	D > L
		Osvjetljavanje desnog vidnog polja	Bilateralno	L > D
		Osvjetljavanje obaju vidnih polja	Bilateralno	Nije statistički značajno
		Promatranje 6 slika	Bilateralno	D > L
		Potiho čitanje (100 riječi)		
		Fiksiranje točke na bijelom papiru	Nije statistički značajno	
		Fiksiranje točke u mraku		
Kelley i sur. (1992.) (16)	21 zdravi ispitanik (15 dešnjaka, 5 ambideksteri, 1 lijevak, 17-48 godina)	Računalna igrice	Bilateralno (p < 0.0001)	D ≥ L (nije statistički značajno)
Njemanze i sur. (1992.) (72)	8 zdravih ispitanika (dešnjaci, 18-27 godina)	Vizualna stimulacija:		
		Tama		D > L (p = 0.0159)
		Svijetlo		D ≥ L (p = 0.098)
		Boja		D > L (p = 0.0001)
Sitzer i sur. (1992.) (73)	10 zdravih ispitanika (24-57 godina) 7 bolesnika sa ishemijskim infarktom PCA	I. Difuzno svjetlo	III. > II. > I. Povećanje brzine na zahvaćenoj strani kod bolesnika je umanjeno	L = D
		II. Uzorak šahovnice		L = D
		III. Film		L = D

Autori	Ispitanici	Kognitivni zadaci	Povećanje brzine protoka krvi	Hemisferalna lateralizacija
Becker i sur. (1996.) (74)	I. 27 zdravih ispitanika kontrola (23-62 godina) II. 11 pacijenata u općoj anesteziji III. 5 pacijenata u vegetativnom stanju IV. 12 pacijenata sa subarahnoidalnim krvarenjem (14-56 godina)	Stimuliranje baterijskom svjetiljkom	II. i III. : nema specifičnog odgovora IV. specifični odgovor značajno smanjen na početku bolesti, normalan pri ozdravljenju	
Bulla-Hellwig i sur. (1996.) (25)	28 zdravih ispitanika (dešnjaci, 19-30 godina)	Govorne sličnosti	Bilateralno ($p < 0.001$)	$D = L$ ($p > 0.1$)
		Prepoznavanje vidnoprstornih identičnih oblika	Bilateralno ($p < 0.001$)	$D = L$ ($p > 0.1$)
		Usporedba vidnoprstornih kocki	Bilateralno ($p < 0.001$)	$D = L$ ($p > 0.1$)
Njemanze (1996.) (75)	7 ispitanika (dešnjaci, 18-27 godina)	Pasivna fiksacija pogleda na bijelu ploču	Bilateralno	
		Formiranje riječi iz ponuđenih slova	Bilateralno	$D > L$
Schnittger i sur. (1996.) (76)	10 zdravih ispitanika (9 dešnjaka, 1 lijevak, 24-33 godina)	Pasivno gledanje		
		Zadatak vizualne prostorne pažnje	Bilateralno	
Sturzenegger i sur. (1996.) (77)	14 zdravih ispitanika (dešnjaci, 21-41 godina)	Bez podražaja	Nije statistički značajno	$D > L$
		Gledanje u bijeli ekran	Bilateralno	$D = L$
		Promatranje prostora pri osvjetljenju	Bilateralno	$D = L$
		Zatvorene oči uz tamne naočale	Bilateralno	$D = L$
		Tamne naočale sa otvorenim očima	Bilateralno (kao i u bazilarnoj arteriji)	

Autori	Ispitanici	Kognitivni zadaci	Povećanje brzine protoka krvi	Hemisferalna lateralizacija
Varnadore i sur. (1997.) (31)	60 zdravih ispitanika (51 dešnjak, 9 ljevaka, 18-23 godine)	Promatranje zapisanih riječi	MCA i ACA > PCA	
		Govorenje	MCA > PCA	
		Pisanje	MCA > ACA + PCA	
		Promatranje anagrama	MCA > PCA	
		Čitanje anagrama		
		Pisanje anagrama		
Spelsberg i sur. (1998.) (78)	19 zdravih ispitanika (Prosjeak godina 24.3) 16 ispitanika (Prosjeak godina 54.9) 17 bolesnika sa infarktom PCA (Prosjeak godina 60.2)	1. Stimulacija svjetlošću	Bilateralno; Nema odgovora u pacijenata sa kompletnom homonimnom hemianopsijom	
		2. Obojeno svjetlo	Bilateralno (nema statistički značajne razlike u brzini protoka u odnosu na zadatak 1); Nema odgovora u pacijenata sa kompletnom homonimnom hemianopsijom	
		3. Fotografija pejzaža	Bilateralno (statistički značajna razlika u odnosu na zadatak 1 i 2); Nema odgovora u pacijenata sa kompletnom homonimnom hemianopsijom	
		4. Zamišljanje događaja	Nije statistički značajno	

Autori	Ispitanici	Kognitivni zadaci	Povećanje brzine protoka krvi	Hemisferalna lateralizacija
Sorond i sur. (2008.) (79)	14 zdravih mlađih (<40 g) ispitanika (Prosjeak godina 30)	Vizualno pretraživanje	PCA > ACA u obje skupine ispitanika	
	15 zdravih starijih (>60 g) ispitanika (Prosjeak godina 74)	Test verbalne fluentnosti uz zadana prva tri slova riječi	ACA > PCA; nedostatak ove razlike u starijih ispitanika	
Topcuoglu (2009.) (80)	19 zdravih starijih ispitanika (Prosjeak godina 69.7) 28 mlađih ispitanika, (Prosjeak godina 31.1)	Šahovnica na ekranu izmjenjujućeg uzorka	Mlađi ispitanici imaju značajno veće promjene u brzini protoka krvi u PCA u odnosu na starije ispitanike.	
Roje-Bedeković i sur. (2012.) (81)	49 pacijenata sa stenozom unutarnje karotidne arterije (ACI) visokog stupnja (>70%) (Prosjeak godina 67) 30 zdravih ispitanika (Prosjeak godina 67)	Stimulacija svjetlošću	Stenoza ACI ne utječe na brzinu protoka krvi u ipsilateralnoj i kontralateralnoj PCA	D > L

Kratice: L – lijeva hemisfera, D – desna hemisfera

6.3. Prednja moždana arterija

Tablica 3 Studije u kojima su upotrebom transkranijuskog Dopplera praćene brzine strujanja krvi u prednjim moždanim arterijama tijekom provođenja različitih kognitivnih zadataka

Autori	Ispitanici	Kognitivni zadaci	Povećanje brzine protoka krvi	Hemisferalna lateralizacija
Kelley i sur. (1992.) (16)	21 zdravi ispitanik (15 dešnjaka, 5 ambideksterata, 1 ljevak, 17-48 godina)	Računalna igrica	Bilateralno ($p < 0.0001$)	$D \geq L$ (nije statistički značajno)
Varnadore i sur. (1997.) (31)	60 zdravih ispitanika (51 dešnjak, 9 ljevaka, 18-23 godine)	Promatranje zapisanih riječi	$MCA > PCA$	
		Govorenje	$MCA > PCA$	
		Pisanje	$MCA > PCA + PCA$	
		Promatranje anagrama	$MCA > PCA$	
		Čitanje anagrama		
		Pisanje anagrama		
Deckel i Cohen (2000.) (82)	I. 9 ispitanika sa Huntingtonovom bolešću (dešnjaci, prosjek godina 38.8) II. 13 kontrola (dešnjaci, prosjek godina 32.8)	Test verbalne fluentnosti naglas (Podaci uspješno prikupljeni od 21 ispitanika)	I. Bilateralno II. Nema promjene brzine $I.ACA > II.ACA$ ($p=0.039$)	I. $L > D$
		Test verbalne fluentnosti potihom (Podaci uspješno prikupljeni od 20 ispitanika)	Bilateralno $II.ACA > I.ACA$ ($p=0.015$)	
		Čitanje (Podaci uspješno prikupljeni od 18 ispitanika)	Bilateralno $I.ACA > II.ACA$ ($p=0.005$)	I. $D > L$

Autori	Ispitanici	Kognitivni zadaci	Povećanje brzine protoka krvi	Hemisferalna lateralizacija
Deckel i Duffy (2000.) (83)	I. 11 ispitanika sa Huntingtonovom bolešću (Prosjeak godina 42.1) II. 9 kontrola (Prosjeak godina: 35.4)	Rješavanje labirinta	II. Bilateralno I. Izostanak promjene u brzini protoka	
		Praćenje linije u labirintu sa prstom	II. Bilateralno I. Izostanak promjene u brzini protoka	
Schuepbach i sur. (2007.) (51)	I. 21 bolesnika sa shizofrenijom (dešnjaci, prosjeak godina 34.7) II. 20 zdravih ispitanika (kontrola) (dešnjaci)	Stockings of Cambridge	ACA I. = ACA II.	
Sorond i sur. (2008.) (79)	14 zdravih mlađih (<40 g) ispitanika (Prosjeak godina 30)	Vizualno pretraživanje	PCA > ACA u obje skupine ispitanika	
	15 zdravih starijih (>60 g) ispitanika (Prosjeak godina 74)	Test verbalne fluentnosti uz zadana prva tri slova riječi	ACA > PCA; nedostatak ove razlike u starijih ispitanika	
Boban i sur. (2014.) (84)	14 zdravih ispitanika (dešnjaci, 20-26 godina)	Test verbalne fluentnosti	Bilateralno	D > L (p=0.039)
		Stroop test s neutralnim stimulusom	Bilateralno	L > D (p=0.507)
		Stroop test s kongruentnim stimulusom	Bilateralno	L > D (p=0.249)
		Stroop test s inkongruentnim stimulusom	Bilateralno	D > L (p=0.087)
		Trail making test A	Bilateralno	Nije statistički značajno
		Trail making test B	Bilateralno	D > L (p=0.038)

Kratice: L – lijeva hemisfera, D – desna hemisfera

7. Prednosti i nedostaci metode

Transkranijalni Doppler je neinvazivna, neionizirajuća i relativno jeftina metoda visoke vremenske rezolucije (85). Zbog tih karakteristika je idealna kao neurofiziološka metoda za dugotrajno praćenje bolesnika. Rezultati su reproducibilni ako ista osoba izvodi mjerenje, ali mogu značajno varirati između različitih izvoditelja pretrage (86,87).

Ova metoda ne zahtijeva nikakve posebne pripreme pacijenata i može se primijeniti kod svakoga tko može ostati dovoljno miran. Putem ove metode može se točno i precizno procijeniti brzina protoka krvi u velikim moždanim arterijama bez potrebe za davanjem kontrastnih sredstava i bez izlaganja pacijenata ionizirajućem zračenju. To znači da se metoda može ponavljati na istom pacijentu bez dodatnog ugrožavanja njegovog zdravlja (88). Uređaj je prijenosan pa omogućuje monitoriranje pacijenata u intenzivnoj njezi.

U usporedbi s ostalim slikovnim metodama, glavna prednost ove metode je odlična rezolucija u vremenu, što omogućuje procjenu moždanog krvnog protoka u realnom vremenu i u kontinuitetu. Nadalje, zapisi se mogu provoditi tijekom duljeg vremena i na neki način, komplementirati EEG (89).

Za pacijente koji su neprikladni za ostale slikovne metode zbog npr. klaustrofobije, pretilosti, psihijatrijskih bolesti i slično, transkranijalni Doppler može biti dobra zamjena. Ispitanici podvrgnuti ovoj metodi ne moraju ležati što omogućuje obavljanje kompleksnijih kognitivnih zadataka. Ova metoda je također manje podložna artefaktima koji su uzrokovani pokretom ispitanika.

Rasprostranjenija uporaba transkranijalnog Dopplera je ograničena zbog povezanosti ispitivačevog poznavanja varijacija cerebrovaskularne anatomije i

vjerodostojnosti rezultata. Također, kranijalni akustični prozori su neadekvatni u 10-15% crnaca, Azijaca i starijih žena. Razlog tome su vjerojatno različite varijacije debljine ili poroznosti kranijalnih kostiju u ovih osoba (87).

Veliki nedostatak ove metode je ograničenost na analiziranje samo većih arterija, što znači da ova metoda nije osjetljiva na manje lokalne promjene u krvotoku (85). Za razliku od ove metode, te promjene se mogu uočiti metodama kao što su fMRI ili PET.

8. Zaključak

Funkcionalni transkranijalni Doppler se pokazao kao vrlo vrijedan dodatak već postojećim metodama u kognitivnim studijama, osobito u situacijama gdje druge metode nisu primjenjive. Iako se ova metoda ne može koristiti kod svih ljudi zbog specifične strukture lubanje određenih skupina, specifične karakteristike ove metode (visoka vremenska rezolucija, neinvazivnost) omogućavaju dodatnu dimenziju istraživanja protoka krvi kroz moždane arterije u kognitivnim studijama i kliničkim situacijama.

Kognitivne studije u kojima se koristi fTCD se uglavnom fokusiraju na hemisfernu lateralizaciju moždane funkcije koja može biti važna kod preoperativne procjene na mozgu, npr. procjena lateralizacije govora prije operacija osobe s epilepsijom (12,39). Također, postoje studije koje uz pomoć fTCD-a uspoređuju razlike između kognitivnih funkcija pacijenata sa shizofrenijom i zdravih ispitanika (38,51).

Zaključno, funkcionalni transkranijalni Doppler ima veliki potencijal u kognitivnoj neurologiji, neurokirurgiji, neurologiji. Potrebna su dodatna istraživanja da bi se otkrile sve njegove indikacije.

9. Zahvale

Zahvaljujem mojoj mentorici, dr. sc. Marini Boban, na pomoći i uputama pri izradi ovog diplomskog rada. Hvala mojoj obitelji i prijateljima na podršci tijekom studija.

10. Literatura

- 1 Aaslid R, Markwalder TM, Nornes H. Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. *J Neurosurg.* 1982;57:769-74.
- 2 Kirsch JD, Mathur M, Johnson MH, Gowthaman G, Scoutt LM. Advances in transcranial Doppler US: imaging ahead. *Radiographics.* 2013;33(1):E1-14.
- 3 Bathala L, Mehndiratta MM, Sharma VK. Transcranial doppler: Technique and common findings (Part 1). *Ann Indian Acad Neurol.* 2013;16(2):174–9
- 4 Soetaert AM, Lowe LH, Formen C. Pediatric cranial Doppler sonography in children: non-sickle cell applications. *Curr Probl Diagn Radiol.* 2009;38(5):218–27
- 5 Roy CS, Sherrington C. On the regulation of the blood-supply of the brain. *J. Physiol.* 1890;11:85.
- 6 Dormanns K, Brown RG, David T. Neurovascular coupling: a parallel implementation. *Front Comput Neurosci.* 2015;9:109
- 7 Girouard H, Iadecola C. Neurovascular coupling in the normal brain and in hypertension, stroke, and Alzheimer disease *J Appl Physiol.* 2006;100:328–35
- 8 Schmidt P, Krings T, Willmes K, Roessler F, Reul J, Thron A. Determination of cognitive hemispheric lateralization by “functional” transcranial Doppler cross-validated by functional MRI. *Stroke.* 1999;30:939–45
- 9 Caramia MD, Palmieri MG, Giacomini P, Iani C, Dally L, Silvestrini M. Ipsilateral activation of the unaffected motor cortex in patients with hemiparetic stroke. *Clin Neurophysiol* 2000;111:1990-6
- 10 Rosengarten B, Molnar S, Trautmann J, Kaps M. Simultaneous VEP and transcranial Doppler ultrasound recordings investigate activation-flow coupling in humans. *Ultrasound Med Biol.* 2006;32(8):1171-80.
- 11 Vingerhoets G, Stroobant N. Lateralization of Cerebral Blood Flow Velocity Changes During Cognitive Tasks; A Simultaneous Bilateral Transcranial Doppler Study. *Stroke.* 1999;30:2152-8
- 12 House PM, Brückner KE, Lohmann HH. Presurgical functional transcranial Doppler sonography (fTCD) with intravenous echo enhancing agent SonoVue enables determination of language lateralization in epilepsy patients with poor temporal bone windows. *Epilepsia.* 2011;52(3):636–9
- 13 Droste DW, Harders AG, Rastogi E. Two transcranial Doppler studies on blood flow velocity in both middle cerebral arteries during rest and the performance of cognitive tasks. *Neuropsychologia* 1989;27: 1221–30.

- 14 Harders, AG, Laborde G, Droste DW, and Rastogi E. Brain activity and blood flow velocity changes: A transcranial Doppler study. *Intern. J. Neuroscience*. 1989;47:91-102
- 15 Njemanze PC. Cerebral lateralization in linguistic and nonlinguistic perception: analysis of cognitive styles in the auditory modality. *Brain Lang*. 1991;41(3):367-80.
- 16 Kelley RE, Chang JY, Scheinman NJ, Levin BE, Duncan RC, Lee SC. Transcranial Doppler assessment of cerebral flow velocity during cognitive tasks. *Stroke*. 1992;23(1):9-14.
- 17 Markus HS, Boland M. "Cognitive activity" monitored by non-invasive measurement of cerebral blood flow velocity and its application to the investigation of cerebral dominance. *Cortex*. 1992;28(4):575-81.
- 18 Kelley RE, Chang JY, Suzuki S, Levin BE, Reyes-Iglesias Y. Selective increase in the right hemisphere transcranial Doppler velocity during a spatial task. *Cortex*. 1993;29(1):45-52.
- 19 Silvestrini M, Caltagirone C, Cupini LM, Matteis M, Troisi E, Bernardi G. Activation of healthy hemisphere in poststroke recovery. A transcranial Doppler study. *Stroke*. 1993;24(11):1673-7.
- 20 Sitzer M, Knorr U, Seitz RJ. Cerebral hemodynamics during sensorimotor activation in humans. *J Appl Physiol*. 1994;77: 2804–11.
- 21 Hartje W, Ringelstein EB, Kistingner B, Fabianek D, Willmes K. Transcranial Doppler ultrasonic assessment of middle cerebral artery blood flow velocity changes during verbal and visuospatial cognitive tasks. *Neuropsychologia*. 1994;32(12):1443-52.
- 22 Silvestrini M, Cupini LM, Matteis M, Troisi E, Caltagirone C. Bilateral simultaneous assessment of cerebral flow velocity during mental activity. *J Cereb Blood Flow Metab*. 1994;14(4):643-8.
- 23 Silvestrini M, Troisi E, Matteis M, Cupini LM, Caltagirone C. Involvement of the healthy hemisphere in recovery from aphasia and motor deficit in patients with cortical ischemic infarction: a transcranial Doppler study. *Neurology*. 1995;45(10):1815-20.
- 24 Rihs F, Gutbrod K, Gutbrod B, Steiger HJ, Sturzenegger M, Mattle HP. Determination of cognitive hemispheric dominance by "stereo" transcranial Doppler sonography. *Stroke*. 1995;26(1):70-3.
- 25 Bulla-Hellwig M, Vollmer J, Götzen A, Skreczek W, Hartje W. Hemispheric asymmetry of arterial blood flow velocity changes during verbal and visuospatial tasks. *Neuropsychologia*. 1996;34(10):987-91.
- 26 Cupini LM, Matteis M, Troisi E, Sabbadini M, Bernardi G, Caltagirone C, i sur. Bilateral simultaneous transcranial Doppler monitoring of flow velocity changes during visuospatial and verbal working memory tasks. *Brain*. 1996;119(4):1249-53.

- 27 Knecht S, Henningsen H, Deppe M, Huber T, Ebner A, Ringelstein EB. Successive activation of both cerebral hemispheres during cued word generation. *Neuroreport*. 1996;7(3):820-4.
- 28 Orlandi G, Murri L. Transcranial Doppler assessment of cerebral flow velocity at rest and during voluntary movements in young and elderly healthy subjects. *Int J Neurosci*. 1996;84(1-4):45-53.
- 29 Matteis M, Silvestrini M, Troisi E, Cupini LM, Caltagirone C. Transcranial doppler assessment of cerebral flow velocity during perception and recognition of melodies. *J Neurol Sci*. 1997;149(1):57-61.
- 30 Schnittger C, Johannes S, Arnavaz A, Münte TF. Blood flow velocity changes in the middle cerebral artery induced by processing of hierarchical visual stimuli. *Neuropsychologia*. 1997;35(8):1181-4.
- 31 Varnadore AE, Roberts AE, McKinney WM. Modulations in cerebral hemodynamics under three response requirements while solving language-based problems: a transcranial Doppler study. *Neuropsychologia*. 1997;35(9):1209-14.
- 32 Silvestrini M, Troisi E, Matteis M, Razzano C, Caltagirone C. Correlations of flow velocity changes during mental activity and recovery from aphasia in ischemic stroke. *Neurology*. 1998;50(1):191-5.
- 33 Vollmer-Haase J, Finke K, Hartje W, Bulla-Hellwig M. Hemispheric dominance in the processing of J.S. Bach fugues: a transcranial Doppler sonography (TCD) study with musicians. *Neuropsychologia*. 1998;36(9):857-67.
- 34 Serrati C, Finocchi C, Calautti C, Bruzzzone GL, Colucci M, Gandolfo C, i sur. Absence of hemispheric dominance for mental rotation ability: a transcranial Doppler study. *Cortex*. 2000;36(3):415-25
- 35 Uzuner N, Yalcinbaş O, Gücüyener D, Ozdemir G. Hand gripping effect on cerebral blood flow in normal subjects. *Eur J Ultrasound*. 2000;11(2):147-50.
- 36 Vingerhoets G, Luppens E. Cerebral blood flow velocity changes during dichotic listening with directed or divided attention: a transcranial Doppler ultrasonography study. *Neuropsychologia* 2001;39:1105–11
- 37 Schuepbach D, Merlo MC, Goenner F, Staikov I, Mattle HP, Dierks T, i sur. Cerebral hemodynamic response induced by the Tower of Hanoi puzzle and the Wisconsin Card Sorting test. *Neuropsychologia*. 2002;40(1):39-53.
- 38 Schuepbach D, Goenner F, Staikov I, Mattle HP, Hell D, Brenner HD. Temporal modulation of cerebral hemodynamics under prefrontal challenge in schizophrenia: a transcranial Doppler sonography study. *Psychiatry Res*. 2002;115(3):155-70.
- 39 Knake S, Haag A, Hamer HM, Dittmer C, Bien S, Oertel WH, i sur. Language lateralization in patients with temporal lobe epilepsy: a comparison of functional

transcranial Doppler sonography and the Wada test. *Neuroimage*. 2003;19(3):1228-32.

40 Basic S, Hajnsek S, Poljakovic Z, Basic M, Culic V, Zadro I. Determination of cortical language dominance using functional transcranial Doppler sonography in left-handers. *Clin Neurophysiol*. 2004;115(1):154-60.

41 Carod Artal FJ, Vázquez Cabrera C, Horan TA. Lateralization of cerebral blood flow velocity changes during auditory stimulation: a functional transcranial Doppler study. *Appl Neuropsychol*. 2004;11(3):167-74.

42 Frauenfelder BA, Schuepbach D, Baumgartner RW, Hell D. Specific alterations of cerebral hemodynamics during a planning task: a transcranial Doppler sonography study. *Neuroimage*. 2004;22(3):1223-30.

43 Stroobant N, Van Nooten G, Vingerhoets G. Effect of cardiovascular disease on hemodynamic response to cognitive activation: a functional transcranial Doppler study. *Eur J Neurol*. 2004;11(11):749-54.

44 Flöel A, Buyx A, Breitenstein C, Lohmann H, Knecht S. Hemispheric lateralization of spatial attention in right- and left-hemispheric language dominance. *Behav Brain Res*. 2005;158(2):269-75.

45 Lohmann H, Dräger B, Müller-Ehrenberg S, Deppe M, Knecht S. Language lateralization in young children assessed by functional transcranial Doppler sonography. *Neuroimage*. 2005;24(3):780-90.

46 Szirmai I, Amrein I, Pálvölgyi L, Debreczeni R, Kamondi A. Correlation between blood flow velocity in the middle cerebral artery and EEG during cognitive effort. *Brain Res Cogn Brain Res*. 2005;24(1):33-40.

47 Schuepbach D, Hell D, Baumgartner RW. Lateralization of cerebral hemodynamics during Wisconsin Card Sorting Test: a functional transcranial Doppler sonography study. *Clin Neurophysiol*. 2005;116(5):1041-8.

48 Duschek S, Schandry R. Deficient adjustment of cerebral blood flow to cognitive activity due to chronically low blood pressure. *Biol Psychol*. 2006;72(3):311-7.

49 Krach S, Hartje W. Comparison of hemispheric activation during mental word and rhyme generation using transcranial Doppler sonography. *Brain Lang*. 2006;96(3):269-79.

50 Schuepbach D, Boeker H, Duschek S, Hell D. Rapid cerebral hemodynamic modulation during mental planning and movement execution: Evidence of time-locked relationship with complex behavior. *Clin Neurophysiol*. 2007;118(10):2254-62.

51 Schuepbach D, Weber S, Kawohl W, Hell D. Impaired rapid modulation of cerebral hemodynamics during a planning task in schizophrenia. *Clin Neurophysiol*. 2007;118(7):1449-59.

- 52 Dorst J, Haag A, Knake S, Oertel WH, Hamer HM, Rosenow F. Functional transcranial Doppler sonography and a spatial orientation paradigm identify the non-dominant hemisphere. *Brain Cogn.* 2008;68(1):53-8.
- 53 Duschek S, Schuepbach D, Schandry R. Time-locked association between rapid cerebral blood flow modulation and attentional performance. *Clin Neurophysiol.* 2008;119(6):1292-9.
- 54 Bishop DV, Watt H, Papadatou-Pastou M. An efficient and reliable method for measuring cerebral lateralization during speech with functional transcranial Doppler ultrasound. *Neuropsychologia.* 2009;47(2):587-90.
- 55 Haag A, Hermsen A, Hattermer K, Dorst J, Plate A, Rosenow F, i sur. Lateralization of mental rotation with functional transcranial Doppler sonography (fTCD) *Klin Neurophysiol* 2009;120(1):e78.
- 56 Illingworth S, Bishop DV. Atypical cerebral lateralisation in adults with compensated developmental dyslexia demonstrated using functional transcranial Doppler ultrasound. *Brain Lang.* 2009;111(1):61-5.
- 57 Lin TK, Ryu SJ, Hsu PW. Interhemispheric Comparisons of Cerebral Blood Flow Velocity Changes During Mental Tasks With Transcranial Doppler Sonography. *J Ultrasound Med.* 2009;28(11):1487-92.
- 58 Matteis M, Bivona U, Catani S, Pasqualetti P, Formisano R, Vernieri F, i sur. Functional transcranial Doppler assessment of cerebral blood flow velocities changes during attention tasks. *Eur J Neurol.* 2009;16(1):81-7.
- 59 Stroobant N, Buijs D, Vingerhoets G. Variation in brain lateralization during various language tasks: A functional transcranial Doppler study. *Behav Brain Res.* 2009;199(2):190-6.
- 60 Duschek S, Heiss H, Schmidt MF, Werner NS, Schuepbach D. Interactions between systemic hemodynamics and cerebral blood flow during attentional processing. *Psychophysiology.* 2010;47(6):1159-66.
- 61 Njemanze PC. Gender-related asymmetric brain vasomotor response to color stimulation: a functional transcranial Doppler spectroscopy study. *Exp Transl Stroke Med.* 2010;2(1):21.
- 62 Bracco L, Bessi V, Alari F, Sforza A, Barilaro A, Marinoni M. Cerebral hemodynamic lateralization during memory tasks as assessed by functional transcranial Doppler (fTCD) sonography: Effects of gender and healthy aging. *Cortex.* 2011;47(6):750-8.
- 63 Groen MA, Whitehouse AJ, Badcock NA, Bishop DV. Where were those rabbits? A new paradigm to determine cerebral lateralisation of visuospatial memory function in children. *Neuropsychologia.* 2011;49(12):3265-71.

- 64 Lust JM, Geuze RH, Groothuis AG, Bouma A. Functional cerebral lateralization and dual-task efficiency—Testing the function of human brain lateralization using fTCD. *Behav Brain Res.* 2011;217(2):293-301.
- 65 Lust JM, Geuze RH, Groothuis AG, van der Zwan JE, Brouwer WH, van Wolffelaar PC, i sur. Driving performance during word generation—Testing the function of human brain lateralization using fTCD in an ecologically relevant context. *Neuropsychologia.* 2011;49(9):2375-83.
- 66 Misteli M, Duschek S, Richter A, Grimm S, Rezk M, Kraehenmann R, i sur. Gender characteristics of cerebral hemodynamics during complex cognitive functioning. *Brain Cogn.* 2011;76(1):123-30.
- 67 Stroobant N, Van Boxtael J, Vingerhoets G. Language lateralization in children: A functional transcranial Doppler reliability study. *Journal of Neurolinguistics* 2011;24:14–24
- 68 Simicević DS, Lovrenčić-Huzjan A, Trifunović-Macek Z, Vuković-Ogrizek M, Strineka M, Martinić-Popović I, i sur. Transcranial Doppler monitoring of middle cerebral artery during verbal stimulation in aphasic patients. *Acta Clin Croat.* 2011;50(3):323-8.
- 69 Badcock NA , Nye A, Bishop DVM. Using functional transcranial Doppler ultrasonography to assess language lateralisation: Influence of task and difficulty level. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 2012;17(6):694-710
- 70 Boban M, Črnac P, Junaković A, Malojčić B. Hemodynamic monitoring of middle cerebral arteries during cognitive tasks performance. *Psychiatry Clin Neurosci.* 2014;68(11):795-803.
- 71 Li M, Huang H, Boninger ML, Sejdić E. An analysis of cerebral blood flow from middle cerebral arteries during cognitive tasks via functional transcranial Doppler recordings. *Neurosci Res.* 2014;84:19-26.
- 72 Njemanze PC, Gomez CR, Horenstein S. Cerebral lateralization and color perception: a transcranial Doppler study. *Cortex.* 1992;28(1):69-75.
- 73 Sitzer M, Diehl RR, Hennerici M. Visually evoked cerebral blood flow responses. Normal and pathological conditions. *Journal of Neuroimaging.* 1992;2:65-70.
- 74 Becker VU, Hansen HC, Brewitt U, Thie A. Visually evoked cerebral blood flow velocity changes in different states of brain dysfunction. *Stroke.* 1996;27(3):446-9.
- 75 Njemanze PC. Cerebral lateralization in random letter task in the visual modality: a transcranial Doppler study. *Brain Lang.* 1996;53(3):315-25.
- 76 Schnittger C, Johannes S, Münte TF. Transcranial Doppler assessment of cerebral blood flow velocity during visual spatial selective attention in humans. *Neurosci Lett.* 1996;214(1):41-4.

- 77 Sturzenegger M, Newell DW, Aaslid R. Visually evoked blood flow response assessed by simultaneous two-channel transcranial Doppler using flow velocity averaging. *Stroke*. 1996;27(12):2256-61.
- 78 Spelsberg B, Böhning A, Kömpf D, Kessler C. Visually induced reactivity in posterior cerebral artery blood flow. *J Neuroophthalmol*. 1998;18(4):263-7.
- 79 Sorond FA, Schnyer DM, Serrador JM, Milberg WP, Lipsitz LA. Cerebral blood flow regulation during cognitive tasks: effects of healthy aging. *Cortex*. 2008;44(2):179-84.
- 80 Topcuoglu MA, Aydin H, Saka E. Occipital cortex activation studied with simultaneous recordings of functional transcranial Doppler ultrasound (fTCD) and visual evoked potential (VEP) in cognitively normal human subjects: Effect of healthy aging. *Neurosci Lett*. 2009;452(1):17-22.
- 81 Roje-Bedeković M, Lovrenčić-Huzjan A, Bosnar-Puretić M, Serić V, Demarin V. Hemispheric asymmetry of visual cortical response by means of functional transcranial Doppler. *Stroke Res Treat*. 2012; 2012: 615406.
- 82 Deckel AW, Cohen D. Increased CBF velocity during word fluency in Huntington's disease patients. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*. 2000;24(2):193-206.
- 83 Deckel AW, Duffy JD. Vasomotor hyporeactivity in the anterior cerebral artery during motor activation in Huntington's disease patients. *Brain Res*. 2000;28;872(1-2):258-61.
- 84 Boban M, Crnac P, Junaković A, Garami Z, Malojčić B. Blood flow velocity changes in anterior cerebral arteries during cognitive tasks performance. *Brain Cogn*. 2014;84(1):26-33.
- 85 Stroobant N, Vingerhoets G. Transcranial Doppler Ultrasonography Monitoring of Cerebral Hemodynamics During Performance of Cognitive Tasks: A Review. *Neuropsychol Rev*. 2000;10(4):213-31.
- 86 Ceravolo MG, Minciotti P, Orlandini M, Provincial L. Intra- and inter-observer variability of basal flow velocity and vascular reactivity measurements using transcranial Doppler sonography. *Neurological Research* 1992;14(2)122–4
- 87 Purkayastha S, Sorond F. Transcranial Doppler Ultrasound: Technique and Application. *Semin Neurol*. 2012;32(4):411–20
- 88 Müller M, Hermes M, Brückmann H, Schimrigk K. Transcranial Doppler Ultrasound in the Evaluation of Collateral Blood Flow in Patients with Internal Carotid Artery Occlusion: Correlation with Cerebral Angiography *AJNR Am J Neuroradiol*. 1995;16(1):195-202
- 89 Aaslid R. Visually evoked dynamic blood flow response of the human cerebral circulation. *Stroke*. 1987;18:771-5

11. Životopis

Filip Staržik rođen je 21. prosinca 1991. u Zagrebu. 2006. završio je Osnovnu školu Alojzije Stepinac u Zagrebu i upisao IV. jezičnu gimnaziju u Zagrebu. 2010. upisao je Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Aktivno se služi engleskim jezikom, a pasivno njemačkim jezikom.